

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Respuesta al Estrés Provocado por Medio de Aplicación Foliar de Diferentes
Productos a Altas Concentraciones en Fresa Cultivar “Albión”

Por:

GREGORIO SAID LÓPEZ MEZA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México.

Junio 2016

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Respuesta al Estrés Provocado por Medio de Aplicación Foliar de
Diferentes Productos a Altas Concentraciones en Fresa Cultivar "Albión"

Por:

GREGORIO SAID LÓPEZ MEZA

TESIS


Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

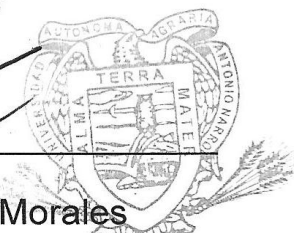
Aprobada por el Comité de Asesoría:


Dr. José Antonio González Fuentes
Asesor Principal


Dr. Leobardo Bañuelos Herrera
Coasesor


Dr. Armando Hernández Pérez
Coasesor


Dr. Gabriel Gallegos Morales
Coordinador de la División de Agronomía


Coordinación
División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México.

Junio 2016

AGRADECIMIENTOS

A Dios.

Te agradezco dios, gracias a ti estoy concluyendo con mis estudios, me has permitido llegar a este día en el cual doy un paso más en mi vida profesional. Me has otorgado paciencia, fuerza, inteligencia, fe y sobre todo salud, no me has abandonado en cada una de las decisiones que he tomado durante mi vida y carrera universitaria, que fue para mí de lo mejor que he disfrutado de mi juventud y amigos.

A mi Alma Mater, la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Mi alma mater, mi segunda casa y familia, por brindarme conocimiento, sabiduría, amigos, maestros, compañeros de clase y muy probablemente de vida, a ti mi escuela querida llevare siempre en alto tu nombre. Me has otorgado la oportunidad de formarme profesionalmente y de lo cual estoy totalmente orgulloso.

A mi Familia.

A ti abuela, padre, madre y hermanos, estos y para ustedes mi familia, me han otorgado sus cariño, paciencia, consejos y mostrado su admiración hacia mí.

Al Dr. José Antonio González Fuentes

Gracias por su confianza y grandes enseñanzas que me deja, también. Gracias por la paciencia, conocimiento, interés y amistad, hoy he acabo con el proyecto de investigación.

A mis Asesores de Tesis.

Agradezco mucho a los doctores: Leobardo Bañuelos Herrera y Armando Hernández Pérez, con mucho cariño a para la amiga y laboratorista T. A. Martina de la Cruz Casillas por todos los consejos y apoyo incondicional para la culminación de mi trabajo experimental.

DEDICATORIA

Son muchas las personas especiales a quienes me gustaría agradecer su amistad, apoyo, ánimo y compañía en las diferentes etapas de mi vida. Sin importar en dónde estén o si alguna vez llegan a leer estas dedicatorias quiero darles las gracias por formar parte de mí, por todo lo que me han brindado y por todas sus bendiciones.

A MIS PADRES

Papá Gregorio López Cruz y Mamá Lic. Enf. Rosalba Meza Cisneros, son sin duda alguna las mejores personas en mi vida, me han llenado de amor, felicidad y otorgado la confianza y apoyo, aunque me encontré lejos siempre me inspiraron a seguir adelante y no rendirme, saben lo que me ha costado terminar con este, mi último paso y no dejaron de alentarme y aconsejarme. A ti padre por ser un ejemplo de trabajo, respeto y humildad total, eres mi mejor aliento para trabajar en lo que me graduado. A ti mi madre por el pilar de la casa, el amor, enseñanza y compañía en mi vida, para ustedes es mi trabajo, quiero compartirlo con ustedes. Gracias papas, han al fin cosechado el primero de sus frutos, a partir de hoy soy, “el Ing.,” su “Ing.”

ESTO ES POR Y PARA USTEDES

iii.. LOS AMO..!!!

A MIS HERMANOS

Ramiro López Meza y Diana López Meza, es para mí ser ejemplo para ustedes, mostrarles que todo en esta se vida se puede, solo se necesita de paciencia y dedicación a todo. Son lo mejor para mí un aliento para ser de

ejemplo para ustedes. Y que se sientan orgullosos de tenerme como hermano mayor.

A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS

Gracias a mi compañero Antonio de Jesús Roblero, por el apoyo en el trabajo experimental, gracias camarada hemos acabado al fin con este trabajo.

A todos mis amigos, sin excluir a ninguno, pero en especial a Benjamín López, Manuel Martínez, Gustavo Palestino, Mario Benítez, a mis amigas queridas Ángeles Aguilar y Lily de la Cruz y al equipo UAAAN Rugby Club, mil gracias por todos los momentos que hemos pasado juntos, por sus apoyos y comprensión en todo momento, por sus ánimos y que estuvieron siempre a mi lado en las buenas y en las malas gracias a ustedes también fue posible este logro, por su gran amistad y por compartir tristezas y alegrías dentro y fuera de la UAAAN. Jamás lo olvidaré.

A mi más querido amigo Pedro Pablo Juárez quien fue la mejor amistad que puedo tener de la universidad, a mis compañeros de cuarto José Carrillo, Paul Hipólito, Horacio Samayoa, LuisMi. Gracias por su amistad y apoyo.

Para mi amiga, compañera de travesuras, locuras, risas, llanto. Para mi amor *Ingrid Gómez Arroyo*. Gracias por tu apoyo bebe.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	I
DEDICATORIA	III
ÍNDICE DE CONTENIDO	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE CUADROS	VIII
RESUMEN	IX
INTRODUCCIÓN	1
Objetivo general	3
Objetivo específico	3
HIPÓTESIS	3
REVISIÓN DE LITERATURA	4
Historia y Origen	4
Estrés	4
Especies reactivas de oxígeno	5
Estrés oxidativo	6
Fitoquímicos o Metabolitos	7
Producción de Metabolitos	8
Los Ácidos Orgánicos	8
Ácido glutámico	9
Importancia fisiológica del hierro	11
MATERIALES Y METODOS	13
Localización del sitio experimental	13
Metodología	13
RESULTADOS Y DISCUSION	16
Altura de planta (AP)	16
Diámetro de planta (DP)	19
Diámetro de corona (DC)	21
Número de coronas (NC)	23
Sólidos solubles totales (SST-° Brix)	25

Peso del fruto (PF)	27
CONCLUSIONES	32
LITERATURA CITADA	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Título	Página
Figura 1	Reacciones de los radicales libres de oxígeno.....	6
Figura 2	Estructura química del ácido glutámico.....	9
Figura 3	Glicolisis y ciclo de Krebs, para mostrar la participación del ácido glutámico en la síntesis de metabolitos o fitoquímicos.....	9
Figura 4	Localización del área experimental.....	13
Figura 5	Respuesta en altura de planta de fresa cultivar “Albión”.....	18
Figura 6	Respuesta en diámetro de planta de fresa cultivar “Albión”.....	21
Figura 7	Respuesta en diámetro de corona de fresa cultivar “Albión”.....	23
Figura 8	Respuesta en número de corona de fresa cultivar “Albión”.....	25
Figura 9	Respuesta en solido de soluto totales fresa cultivar “Albión”.....	27
Figura 10	Respuesta en peso de fruto de fresa cultivar “Albión”.....	29
Figura 11	Respuesta en contenido relativo de clorofila fresa cultivar “Albión”.....	31

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Título	Página
Cuadro 1.	Glutamato libre en productos vegetales.....	10
Cuadro 2.	Principales funciones principales del fierro en la planta.....	12
Cuadro 3.	Distribución de los tratamientos aplicados foliarrmente a las plantas de fresa, cv. "Albión".	14
Cuadro 4	Composición de la solución nutritiva utilizada comercialmente para el cultivo de fresa cultivar "Albión".....	15

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue de determinar el efecto de 4 productos para el estrés abiótico sobre el crecimiento y producción de Fresa (*Fragaria x ananassa*), cv Albión, cultivada en ambiente protegido con un sistema hidropónico abierto con fibra de coco como sustrato, se aplicaron siete tratamientos en forma de aspersión foliar, se tomaron plantas sin aplicar como tratamiento 0 (T0), Peróxido de Hidrogeno al 50% (H_2O_2) con concentraciones de 34.014×10^{-4} M como tratamiento 1 (T1) y 34.014×10^{-3} M como tratamiento 2 (T2), Sulfato de Cobre ($CuSO_4$) a 159.62×10^{-4} M como tratamiento 3 (T3), Acido Glutámico (AG) 1.96 g/L como tratamiento 4 (T4), Sulfato Ferroso ($FeSO_4$) de 151.9×10^{-3} M como tratamiento 5 (T5) y 151.9×10^{-2} M como tratamiento 6 (T6), con cuatro repeticiones por tratamiento. Se evaluaron las variables de crecimiento vegetativo de la planta como: altura de planta (AP), diámetro de la planta (DP), diámetro de corona (DC) y números de coronas (NC), peso de los frutos (PF), sólidos solubles totales (°brix) y contenido relativo de clorofila (CRC). La aspersión foliar de H_2O_2 concentrado a 34.014×10^{-4} M y el para el $CuSO_4$ a 159.62×10^{-4} M mostraron diferencia significativa en diámetro de corona, para el H_2O_2 concentrado a 34.014×10^{-4} M mostro diferencia significativa en peso de fruto, el tratamiento de ácido glutámico 1.96g/L fue diferente significativamente peso de fruto y altura de planta, el $FeSO_4$ a 151.9×10^{-3} M no mostro diferencia significativa en las variables y el $FeSO_4$ a 151.9×10^{-3} M fue diferente significativamente en diámetro de planta, diámetro de corona, numero de corona y peso de fruto. El estudio indica que la aplicación para inducir estrés favorece el crecimiento y desarrollo de la planta de Fresa en especial los tratamientos de $FeSO_4$ a concentración de 151.9×10^{-2} M mostrando ser superior sobre las pantas testigo en la mayoría de las variables.

PALABRAS CLAVE: fresa, estrés oxidativo, aplicación foliar, ROS.

Correo electronico; Gregorio Said López Meza, virgo_9309@hotmail.es

INTRODUCCIÓN

El cultivo de la fresa (*Fragaria x ananassa*) tiene una gran importancia desde el punto de vista socioeconómico; en la República Mexicana, se contó con una superficie cultivada de 6,282 ha de diferentes variedades que aportaron una producción de 226,657 Ton., con un valor superior a los 2,102 millones de pesos conforme a los datos registrados (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SIAP 2011). Las principales entidades productoras de fresa son Baja California, Guanajuato, Jalisco, Estado de México y Michoacán; en esta última entidad se concentra la mayor producción nacional con una superficie cultivada de 3,252 ha y una producción de 113,193 Ton en el 2010.

Sin embargo, de acuerdo a los datos con que cuenta el Consejo Nacional de la Fresa A.C. (Conafre, 2011). En el estado de Michoacán se cuenta con un total de 4,325 has cultivadas, de las cuales 3,100 Has están protegidas con macrotúnel, cuya producción supera las 70.0 Ton/Ha, Michoacán y Baja California producen aproximadamente el 87 por ciento del total en México. El estado de Baja California destina la mayor parte a la exportación a Estados Unidos, debido a la cercanía con el país vecino, por tal motivo es mayor su valor de producción.

La fresa se caracteriza por poseer ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga (LC-PUFAs por sus siglas en inglés) Omega 3, también conocidos como n-3, ya que es de gran interés para la salud humana y proveen protección contra enfermedades cardiovasculares así como ayuda para un buen desarrollo del feto en mujeres embarazadas; además, como el cuerpo humano sintetiza estos ácidos grasos. La ingesta en dieta es necesaria. Los ácidos grasos que brindan protección cardiovascular, son el ácido eicosapentaenoico

(EPA) y el ácido decosaheptaenoico (DHA) (Mozaffarian and Wu, 2011; Ruiz-López *at al.* 2014), provenientes principalmente de aceite de pescados marinos. Estos ácidos EPA y DHA en plantas se sintetizan a partir del ácido alfa linoleico (ALA) (Ruiz-López *at al.* 2014). El ácido alfa linoleico (ALA) es también un ácido graso relacionado con beneficios cardiovasculares y a diferencia de EPA y DHA la fuente principal de este son los vegetales como semillas de soya, nueces y aceite de canola (Pan *at al.* 2012).

El incremento en la demanda de estos ácidos grasos proveniente de peces marinos, incrementa la presión de sobre-pesca situando en riesgo la fauna marina (Cressey, 2009). Esto lleva a la preocupación de contaminación del ambiente marino, lo que ha intensificado la búsqueda de nuevas fuentes de Omega-3 (Tocher, 2009). En este sentido ácido alfa linoleico proveniente de fuentes vegetales es una alternativa más accesible (Pan *at al.* 2012).

Una alternativa viable, es el incremento de ácidos grasos en plantas, por medio de estímulos inducidos que acortaría enormemente los tiempos de obtención y se podría aplicar en cultivos ya establecidos para aumentar su valor nutricional. Una alternativa, es el estrés enzimático inducido y controlado, lo que ha demostrado que las especies reactivas de oxígeno (ROS), además de causar estrés oxidativo celular, también cumplen la función de señalización de estrés; así como, segundos mensajeros en las sucesiones de transducción de señales en respuesta al estrés (Mittler, 2002). Con el uso de promotores de oxidación controlada, inductores químicos o naturales que funcionan como señalizadores se ha reportado recientemente que es posible manipular los mecanismos de defensa de las plantas, los niveles de fitoquímicos específicos, de antioxidantes y de vitaminas (Lester, 2006; Kocsy *at al.* 2001; Benavides-Mendoza, 2002; Rosales-Velázquez *at al.* 2006).

La fruta de fresa es una de las más populares alrededor del mundo, por su sabor, su alto valor nutritivo y fuente de antioxidantes ya que contiene hasta 780µg/g de ácido alfa linolenico (omega 3) en los aquenios, de 450 a 100 µg/100g de antocianinas y 567 µg/g de ácido ascórbico (vitamina C) entre otros (Quian, 2005).

Dada la importancia económica, el consumo de fresa, el contenido de omega 3 y su alto valor nutricional se puede modificar con estímulos de enzimas, el desarrollo del cultivo.

Objetivo general

Determinar el comportamiento de 4 productos para inducir estrés, en el crecimiento y producción de la fresa, cv. “Albión”.

Objetivo específico

Establecer la dosis óptima de al menos un producto, que beneficie, en el desarrollo de la fresa, cv. “Albión”.

HIPÓTESIS

Al menos una dosis de un producto, provocarán algún efecto en el desarrollo de la fresa, cv. “Albión”.

REVISIÓN DE LITERATURA

Historia y Origen

Las fresas modernas de fruto grande tienen un origen relativamente reciente (siglo XIX), pero las formas silvestres adaptadas a diversos climas son nativas a casi todo el mundo, excepto África, Asia y Nueva Zelanda. El cultivo de fresa a nivel comercial se estableció por primera vez en Irapuato Guanajuato y a mediados de la década de los 50 se estableció en Michoacán. De esta forma el cultivo de la fresa fue introduciéndose poco a poco en todos los rincones del valle de Zamora, desplazando áreas más específicas. Para la década de los 60s, el cultivo rápidamente se distribuyó en varios municipios del Valle de Zamora y empezaron a construirse la primeras agroindustrias, para el procesamiento y congelado de la producción en la región (Conafre, 2011).

Estrés

El estrés ambiental es una fuerte restricción para el aumento de la productividad y de la extensión de los cultivos. Se estima que únicamente un 10% de la superficie de tierra arable se encuentra libre de estrés. Cerca del 20% de la tierra presenta algún tipo de deficiencia o toxicidad mineral, 26% es afectada por estrés de sequía y 15% por congelación (Blum, 1988).

Las especies reactivas de oxígeno tienen en las plantas, papeles importantes en el crecimiento, desarrollo e interacciones con el medio ambiente, y por tanto, se producen en cantidades significativas durante la fotosíntesis y la respiración. Sin embargo, se mantiene la homeostasis redox mediante mecanismos que controlan su síntesis y depuración. El desbalance entre la producción y la eliminación de las especies reactivas en los organismos conducen a lo que se conoce como estrés oxidativo. Existen dos tipos de mecanismos antioxidantes que mantiene esta homeostasis: los enzimáticos y

los no enzimáticos. Dentro de los enzimáticos, podemos citar a la superóxido dismutasa, la catalasa, las peroxidasas y entre los no enzimáticos, tenemos a compuestos como el ascorbato y el glutatión (De Lourdes y castro-concha).

Independientemente de su naturaleza, un factor común en todas las condiciones adversas es la sobreproducción de especies reactivas de oxígeno (Inzé y Van Montagu, 1995). El estrés oxidativo es un estado alterado de la homeostasis de óxido-reducción intracelular, es decir, el balance entre oxidantes y antioxidantes. Dada su gran reactividad y 5 en ausencia de mecanismos que las depuren, las ROS producen daños en la estructura y la función de las células (Simontacchi *at al.*, 2001).

Especies reactivas de oxígeno

El término especies reactivas de oxígeno se refiere, tanto a los radicales libres del oxígeno, como son el anión superóxido ($\bullet\text{O}_2^-$), el hidroxilo ($\bullet\text{OH}$) y el peroxilo, así como a otras moléculas que no son radicales, como el oxígeno singulete (O_2) y el peróxido de hidrógeno (H_2O_2). Un radical libre es cualquier especie capaz de tener una existencia independiente, que contiene uno o más electrones desapareados. Un electrón desapareado es aquel que se encuentra solo y ocupando un orbital atómico o molecular. Los radicales pueden formarse a través de numerosos mecanismos, entre los cuales se incluye la adición de un electrón a un no-radical. El oxígeno molecular se considera un radical libre, ya que no tiene completamente apareados sus electrones. Sus dos electrones tienen el mismo número cuántico de spin, es decir, sus spins son paralelos; de aquí su gran capacidad para reaccionar con la mayoría de las moléculas que no son radicales (Halliwell, 2006) (Figura 1).

Las ROS, que se producen durante los procesos de respiración y fotosíntesis bajo condiciones fisiológicas normales, son depuradas a través de una serie de complejos mecanismos enzimáticos y no enzimáticos. Cuando el equilibrio entre la producción y la eliminación de especies reactivas de oxígeno es perturbado por una serie de factores medioambientales adversos, ya sean bióticos o abióticos, se produce lo que se conoce como estrés oxidativo.

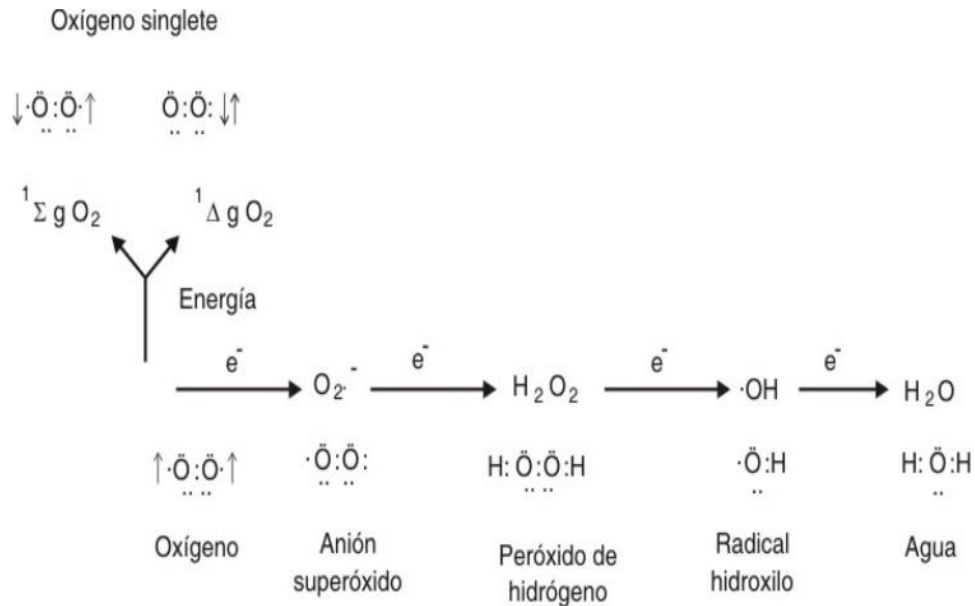


Figura 1. Reacciones de los radicales libres de oxígeno

Estrés oxidativo

Estas condiciones ambientales desfavorables pueden ser bióticas, impuestas por otros organismos, o abióticas, promovidas por un exceso o déficit en el ambiente físico o químico que las rodea. Independientemente de su naturaleza, un factor común en todas las condiciones adversas es la sobreproducción de especies reactivas de oxígeno (Inzé y Van Montagu, 1995). El estrés oxidativo es un estado alterado de la homeostasis de óxido-reducción intracelular, es decir, el balance entre oxidantes y antioxidantes. Dada su gran reactividad y 5 en ausencia de mecanismos que las depuren, las ROS producen daños en la estructura y la función de las células (Simontacchi *et al.*, 2001).

Estrés abiótico: en plantas, las ROS se producen continuamente en el cloroplasto y mitocondria. En condiciones normales, la producción y remoción de las ROS está estrictamente controlada. Sin embargo, el equilibrio entre la producción y la depuración de éstas puede ser perturbado por diversos factores fisicoquímicos, como son el déficit hídrico, la salinidad, las temperaturas extremas, la excesiva o insuficiente radiación luminosa, la anaerobiosis por encharcamiento o inundación, los factores mecánicos como el viento o la

compactación del suelo y las lesiones. Los factores químicos incluyen el estrés nutricional, o la presencia de contaminantes inorgánicos (SO₂, NO_x, O₃, o metales pesados) u orgánicos como los compuestos clorofluorocarbonados (CFC), bifenilos policlorados (BPC) o hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP). Frecuentemente, se presentan combinaciones de dos o más de estas condiciones (Cabrera, 2006).

Estrés biótico: Una de las más rápidas reacciones de defensa al ataque por patógenos es la llamada explosión oxidativa, la cual constituye la producción de ROS, principalmente •O₂ - y H₂O₂ en el sitio de invasión. La generación de •O₂ - La interacción planta-patógeno puede ser de tipo compatible, en la cual el patógeno infecta la planta, provocando una enfermedad, o incompatible, en la que los mecanismos de defensa de la planta impiden su entrada o establecimiento. En este último caso, las células que están en contacto con el patógeno pueden enviar señales a las células y tejidos vecinos para que se produzcan cambios bioquímicos destinados a evitar la diseminación del patógeno. Este sistema se denomina resistencia sistémica adquirida (Cabrera, 2006). Este tipo de estrés también puede ser provocado por insectos y nematodos, así como también por herbívoros.

Fitoquímicos o Metabolitos

Como parte de su metabolismo, las plantas producen una diversidad de compuestos orgánicos. A estos componentes se les conoce como metabolitos y sus propiedades químicas se han investigado ampliamente desde mediados del siglo XIX (Croteau *at al.*, 2000). Esta diversidad bioquímica es el resultado de la coevolución entre plantas y el medio ambiente en el que viven. (Verpoorte *at al.*, 2002; Rausher, 2001; Theis y Lerdau, 2003). Aun y cuando no existe una diferenciación exacta de ellos, los carbohidratos, lípidos, proteínas se clasifican como metabolitos primarios y los terpenos, alcaloides, flavonoides, etc., se les ubican dentro de los metabolitos secundarios o derivados del metabolismo secundario. De estos últimos existe una gran diversidad, se reportan aproximadamente unos 80 mil y cada año se

caracterizan alrededor de 4 mil. Esta diversidad en productos, también posibilita una amplia diversidad de usos y aplicaciones, que van desde la alimentación, agricultura, industria, medicina etc.

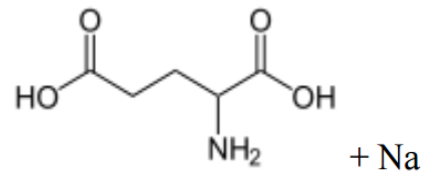
Producción de Metabolitos

El crecimiento y desarrollo de las plantas y por lo tanto la síntesis de metabolitos, están influenciados por la información genética y el medio ambiente en que se desarrollan, por ello es que en la búsqueda de producir o incrementar la síntesis de estos compuestos, se utilizan herramientas de mejoramiento genético, conocido como aumento genotípico o “heredable” o bien manejo y manipulación de condiciones ambientales, como la luz, temperatura, salinidad en el suelo, niveles de nutrimentos etc., denominado aumento fenotípico “no heredable”. Así mismo dentro de las estrategias de aumento fenotípico, se propone que se pueden inducir respuestas en el crecimiento de las plantas y la síntesis de metabolitos, mediante la aplicación exógena de compuestos, evocadores o precursores (Benavides, 2004).

Los Ácidos Orgánicos

Los productos obtenidos del metabolismo son productos carbonados generalmente ácidos, de ahí la denominación de ácidos orgánicos. Dentro de los ácidos orgánicos, se encuentra el ácido salicílico y su precursor el ácido benzoico, que actúan como señalizadores o promotores de oxidación controlada (POC) (Benavides *at al.*, 2002). El ácido glutámico al aplicarse a las plantas parece actuar como un precursor energético (Steer y Breves, 1966), o un sinergista (Sandoval y Kamara, 2002) que al mezclarse con otros compuestos incrementa la velocidad de síntesis o la cantidad de metabolitos de interés.

Ácido glutámico



Acido Glutámico

Figura 2. Estructura química del ácido glutámico

El Ácido Glutámico. Se deriva del ácido α -ceto glutámico en el ciclo de Krebs, y a su vez es precursor de glutamina, sustrato de otros aminoácidos, proteínas y ácido delta-aminolevulínico que da origen a clorofila y fitocromos (Figura 3).

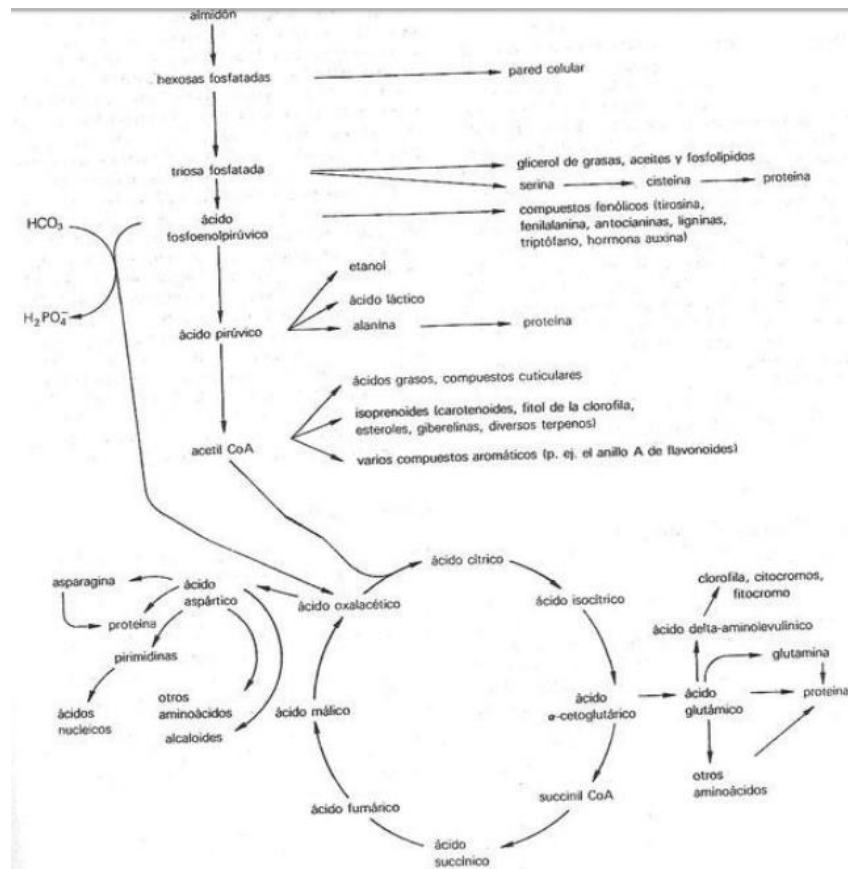


Figura 3. Glicolisis y ciclo de Krebs, para mostrar la participación del ácido glutámico en la síntesis de metabolitos o fitoquímicos (Salisbury y Ross, 1994)

Este proceso inicia con la glutamina, una de las amidas más importantes en los vegetales, la glutamina se forma con la adición de un grupo NH_2^- , proveniente del NH_4^+ , al grupo carboxilo más alejado del carbono alfa del ácido glutámico, de esta manera se forma un enlace amida, por acción de la glutamato sintetasa, la glutamina trasfiere el grupo amida al carbono carbonílico del ácido cetoglutárico, para formar dos moléculas de ácido glutámico, de los cuales uno de ellos se cataliza para mantener la reacción, mientras que otro se puede convertir directamente en proteínas, clorofila, ácidos nucleicos, parte del glutamato se transporta hacia otros tejidos, en donde se utiliza de manera similar en procesos de síntesis. Además de formar glutamato, la glutamina, puede donar su grupo amida al ácido aspártico, para formar asparagina, que por acción de la asparagina sintetasa y la hidrólisis irreversible de ATP a ADP y P_{Pi}, proporcionan energía metabólica (Salisbury y Ross, 1994). Tal vez debido a la alta relación nitrógeno/carbono en comparación a la mayoría de otros compuestos, la glutamina ha evolucionado como medio importante para acumular nitrógeno en especies vegetales. Órganos de almacenamiento, como papas, zanahorias, rábanos, son ricos en esta amida (Cuadro 1). En hojas maduras la glutamina se forma a partir del ácido glutámico y NH_4^+ que se inicia cuando se empieza a degradar la proteína, después se transporta vía floema a hojas más jóvenes, raíces, flores, frutos y semillas.

Cuadro 1. Glutamato libre en productos vegetales

Producto	mg/100g
Té verde	668
Champiñones	180
Tomate	140
Papa	102
Col china	100
Soya	66
Camote	60
Col	37
Zanahoria	33

Por último la glutamina se incorpora a las proteínas de todas las células como parte de los 20 aminoácidos. (Salisbury y Ross, 1994). También actúa en el ciclo fotorrespiratorio del nitrógeno (Keys *et al.*, 1978), y la conversión de amonio a compuestos orgánicos (Oaks y Hirel, 1985).

Importancia fisiológica del hierro

En plantas y otros organismos una gran parte del Fe^{+} presente se encuentra asociado con porfirinas. Las porfirinas con Fe^{+} de animales y hongos son principalmente moléculas hem, mientras que en las plantas son los citocromos los más comunes. Los citocromos se encuentran como partes funcionales de los sistemas respiratorio y fotosintético y su propiedad más importante, la función redox, se deriva de la capacidad del Fe^{+} de ser oxidado de manera reversible de Fe_2^{+} a Fe_3^{+} . Esta capacidad se utiliza en donde se requiere realizar reacciones redox rápidas por transferencia de electrones, es decir, reacciones que no requieren transferencia de H^{+} o formación/rompimiento de enlaces covalentes. La mayor parte del Fe activo en la planta se ve implicado en las reacciones redox de cloroplastos y mitocondrias. El hierro se encuentra también implicado en muchos sistemas enzimáticos en donde no se asocia a un grupo prostético o, incluso, no se asocia estructuralmente a la enzima, si bien cumple un papel que se supone importante aunque poco definido. El Cuadro 2, modificado de Rains (1976), sirve como resumen:

Cuadro 2. Principales funciones principales del hierro en la planta

- | |
|---|
| <p>1. Componente estructural de las moléculas de porfirina: citocromos, hem, hematina, ferricromo, hemoglobinas animales y vegetales. Involucrado en reacciones de oxidación-reducción en la respiración y la fotosíntesis.</p> |
| <p>2. Componente estructural de moléculas no hem: ferredoxinas y proteínas Fe⁺ - S.</p> |
| <p>3. Sistemas enzimáticos: citocromo oxidasa, catalasa, peroxidasa, aconitasa, desaturasas de ácidos grasos, síntesis de clorofila (varias enzimas), peptidilprolina hidrolasa, nitrogenasa, etc.</p> |

MATERIALES Y METODOS

Localización del sitio experimental

El experimento fue conducido en un invernadero de producción comercial en el rancho “La Gloria” ubicado a los 25°12'39.30" de Latitud Norte, 100°46'5.58" de Longitud Oeste y a 2006 msnm en Huachichil, Municipio de Arteaga, Coahuila, México.



Figura 4. Localización del área experimental.

Metodología

Este experimento se distribuyó de acuerdo a un diseño experimental completamente al azar. Los datos se analizaron en el ANVA con la prueba de tukey ($\alpha \leq 0.05$). Con el sistema Statistical Analysis System para Windows, versión 9.0 (SAS 2002). Los tratamientos fueron seis, con cuatro repeticiones. Cada repetición tuvo cuatro plantas, con un total de 16 por tratamiento y 112 plantas en total por todo el experimento (Cuadro 3). Y las aplicaciones fueron cada dos semanas por un tiempo de dos meses de forma foliar.

Este experimento se realizó en plantas de fresa (*Fragaria x ananassa*) del cultivar Albión, en el periodo del 5 de septiembre 2014 al 15 de diciembre 2014; con número similar de coronas. Las plantas fueron cultivadas en bloques

de fibra de coco como sustrato de crecimiento con dimensiones de 12 cm de ancho por 8 cm de alto y 100 centímetros de longitud. La densidad de plantación fue de cinco plantas por bloque de fibra de coco.

Cuadro 3. Distribución de los tratamientos aplicados foliarrmente a las plantas de fresa, cv. “Albión”.

Tratamiento	Dosis
Testigo (T0)	Sin aplicar
Peróxido de hidrogeno (T1)	$30.014 \times 10^{-4} \text{ M}$
Peróxido de hidrogeno (T2)	$30.014 \times 10^{-3} \text{ M}$
Sulfato de cobre (T3)	$159.62 \times 10^{-4} \text{ M}$
Acido glutámico (T4)	1.96 g/L
Sulfato ferroso (T5)	$151.9 \times 10^{-3} \text{ M}$
Sulfato ferroso (T6)	$151.9 \times 10^{-3} \text{ M}$

Las plantas fueron expuestas a la misma solución nutritiva (Cuadro 4) en un sistema abierto de acuerdo a la formulación comercial del productor la cual se aplicó por medio de espagueti de plástico con un diámetro de 4 milímetros y una longitud de 70 centímetros conectados a la tubería secundaria de distribución. La capacidad de emisión de los goteros fue de 2 litros por minuto y la frecuencia de riego fue cada 2 horas con un tiempo suficiente para lograr un volumen de drenaje del 15 al 25%.

Cuadro 4. Composición de la solución nutritiva utilizada comercialmente para el cultivo de fresa cultivar “Albión”.

Nutriente	meq/ L
Nitrógeno	
NO3-N	5.5
NH4-N	2
Fosforo H2PO4	1
Azufre SO4	3.5
Potasio K	2.5
Calcio Ca	3.5
Magnesio Mg	2
Hierro (ppm)	2.8
Boro (ppm)	0.6
Manganeso	0.04
Zinc	0.2
Cobre	0.1
Molibdeno	0.03
pH	5.5 – 6.0
Conductividad eléctrica(dSm⁻¹)	~1.0

Las variables medidas a la planta fueron: altura de planta (AP), diámetro de planta (DP), número de corona (NC), diámetro de corona (DC) (vernier digital, marca PETRUL) y al fruto: peso de fruto (PF) y sólidos solubles totales (SST- ° Brix) (Refractómetro, marca ATAGO) y contenido relativo de clorofila (CRC) (Clorofilometro, mediante unidades SPAD-502 plus).

RESULTADOS Y DISCUSION

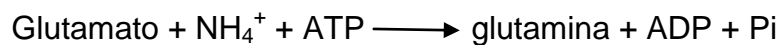
Altura de planta (AP)

De acuerdo con los resultados obtenidos, los tratamientos aplicados afectaron significativamente el crecimiento vegetativo de la planta (como altura de planta, diámetro de la planta, diámetro de corona y números de coronas), rendimiento, grados brix y contenido relativo de clorofila de las plantas de fresas.

Con respecto a la altura de la planta en los tratamientos T1 y T2 que corresponden a las diferentes concentraciones de H_2O_2 a 34.014×10^{-4} M y 34.014×10^{-3} M no se encontró diferencia significativa, sin embargo encontró una tendencia numérica de 6.65% y 14.22% de menor tamaño en la concentración alta y baja respectivamente en comparación con plantas testigo (figura 5). Nuestros resultados coinciden con lo reportado por Pnueli *at al.* (2003) quienes demostraron que la acumulación de H_2O_2 en plantas de *Arabidopsis* sp. inhibió el crecimiento y desarrollo vegetal; estos mismos autores sugieren que el incremento de H_2O_2 intracelular activa la expresión de factores de transcripción involucrados en el control del crecimiento.

Por otra parte con respecto al T3 que corresponde a la aplicación de $CuSO_4$ a 159.62×10^{-4} M no hubo diferencia significativa en altura de planta, aunque se encontró una tendencia numérica de 3.03% menor comparado con el testigo. El sulfato de cobre disminuye la concentración del ácido indolacético (AIA) y aumenta el etileno (Fulford, 1970) lo que ocasiona plantas más pequeñas. En contraste con el trabajo realizado por Hernández (2009), en el cultivo de orégano, no encontró diferencias significativas en los tratamientos de $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ a concentraciones de 1.3×10^{-3} M y 2.6×10^{-3} M, aunque el tratamiento de menor concentración fue de diferencia numérica mayor de un 50.02%.

Para esta misma variable el T4 correspondiente al ácido glutámico a 1.96 g/L, la altura de planta fue diferente significativamente siendo 31.22% menor que las plantas testigo. En las aplicaciones realizadas por Serna-Rodríguez (2011), con 1.25, 2.5, 5, 10 y 20 g/L no obtuvieron diferencias significativas en altura de planta en cultivo de jitomate, lo que concuerda con los resultados encontrados en el presente estudio. Pereyra (2001), sugirió que el glutamato aplicado foliarmente se traslada a la raíz y hacia los plástidos para generar nitrógeno amónico para el consumo de la misma, por otra parte también es aprovechado por los cloroplastos de los tallos para asimilar el amonio producido por la fotorespiración, sí por alguna razón sucede. Las células vegetales evitan la toxicidad del amonio incorporándolo rápidamente en los esqueletos carbonados para formar aminoácidos. El paso primario de esta incorporación involucra las acciones secuenciales de la glutamina sintetasa y la glutamato sintetasa. La glutamina sintetasa (GS) combina el amonio con glutamato para formar glutamina:



Con los resultados obtenidos podemos tener una teoría de lo sucedido en las plantas ya que aunque la glutamina provee beneficios como ser reserva natural de Nitrógeno en las plantas que puede transformarse en otros aminoácidos gracias a las transaminasas, favorece la asimilación de Nitrógeno inorgánico. Estimula proceso de crecimiento de los meristemos radiculares, foliares y florales (Tecnoquímicas MK 2005).

Para la altura de planta en los T5 y T6 corresponden a FeSO_4 con concentraciones de $151.9 \times 10^{-3} \text{ M}$ y $151.9 \times 10^{-2} \text{ M}$ respectivamente. Los datos no mostraron diferencia significativa con respecto a las plantas testigo, aunque el T6 muestra diferencia numérica de 11.8% mayor. Desde un punto de vista fisiológico el hierro se encuentra en los citocromos que son partes funcionales

de los sistemas respiratorio y fotosintético, su propiedad más importante en la mayoría de las plantas se ve implicada en las reacciones redox de cloroplastos, mitocondrias y peroxisomas. (Benavides *at al.*, 2002). Hernández (2009) realizó un trabajo aplicando de manera foliar $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ a concentraciones de 0.9×10^{-4} M y 1.8×10^{-3} M, en el cual no obtuvo ninguna diferencia significativa en longitud de tallos en el cultivo de orégano. Los resultados muestran una tendencia de crecimiento en altura de planta a medida que la concentración de Fe^{2+} se aumente, esto es contrario a lo señalando Peña-olmos *at al.* (2014), quienes sometieron a las plantas a un exceso de Fe^{2+} con tratamientos de 1 M y 50×10^{-2} M, los índices de crecimiento disminuyeron progresivamente a medida que se aumentó la concentración de Fe^{2+} en el sustrato y la distribución de la materia seca en los órganos varió en función de las necesidades de las plantas.

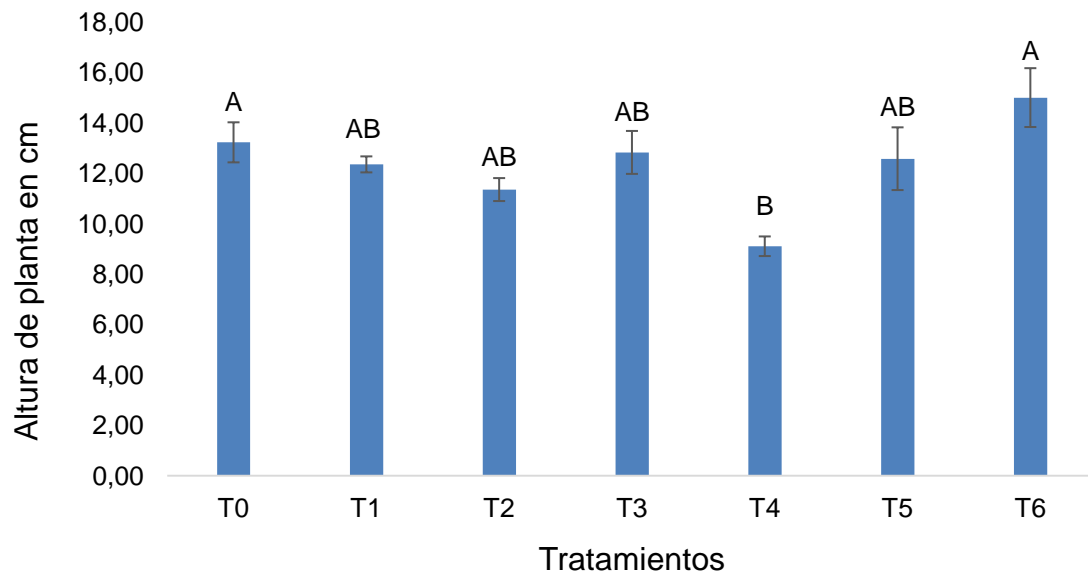


Figura 5. Respuesta en altura de planta de fresa cultivar “Albión” a la aplicación foliar de diferentes estimulantes como; T0 (testigo), T1 H_2O_2 34.014×10^{-4} M, T2 H_2O_2 34.014×10^{-3} M, T3 CuSO_4 159.62×10^{-4} M, T4 Acido glutámico (1.96 g/L), T5 FeSO_4 151.9×10^{-3} M, T6 FeSO_4 151.9×10^{-2} M. Las letras en la parte superior representan el grupo de significancia al que pertenecen para la cual se utilizó la prueba de separación de medias Tukey al 0.05. Las barras colocadas debajo de las letras representan el error estándar.

Diámetro de planta (DP)

De acuerdo con los datos obtenidos, la mayoría de los tratamientos aplicados fueron diferentes significativamente en diámetro de la planta (figura 6).

Los tratamientos de T1 y T2 correspondiente a 34.014×10^{-4} M y 34.014×10^{-3} M de H_2O_2 no son diferentes significativamente en diámetro de planta en comparación con las plantas testigo, aunque presenta una diferencia numérica mayor 13% y 5.79% respectivamente. El H_2O_2 es considerado una molécula señal y un regulador de la expresión de algunos genes en las células. Cuando se acumulan en las plantas, activa factores de transcripción que regulan diferentes procesos fisiológicos y estimula los mecanismos de defensa a estrés biótico y abiótico (Yu *at al.*, 2002, 2003; Pnueli *at al.*, 2003; Hung *at al.*, 2005), lo cual concuerda con nuestros resultados al indicar que se induce cambios morfológicos y fisiológicos en las plantas y la razón por la cual mostro una mayor cobertura aérea de la planta.

El T3 que corresponde a la aplicación de $CuSO_4$ a 159.62×10^{-4} no fue diferente a las plantas testigo, aunque fue numéricamente mayor en 11.4%. (Figueroa, 2010) indican que las dosis moderadas de Fe y Cu muestran una mayor cantidad de tallos y hojas resultando en área foliar de planta, con respecto a esto, se puede decir que la dosis fue baja, en su ensayo no presenta diferencia significativa en área foliar al asperjar $CuSO_4$ a diferentes concentraciones 1.3×10^{-3} M y 2.6×10^{-3} M, aunque sus datos fueron de diferencia numérica mayor en 31.4% y 15% respectivamente, aplicados semanalmente por durante 12 semanas en el cultivo del orégano.

El T4 correspondiente al ácido glutámico concentrado a 1.96 g/L no fue diferente en diámetro de planta, aunque presento diferencia numérica 7.24% mayor a las plantas testigo. Los aminoácidos intervienen en el crecimiento y desarrollo vegetal, particularmente cuando las plantas están sometidas a algún tipo de estrés (Arjona *at al.*, 2004). Aunque las plantas tienen la capacidad por si solas de sintetizar aminoácidos que necesita a partir del nitrógeno, carbono, oxígeno e hidrógeno el proceso bioquímico es muy complejo y consumidor de

energía; por lo que, la aplicación de aminoácidos permite un ahorro de energía y un mejor desempeño de la planta en etapas críticas donde requiere elementos altamente disponibles para realizar sus funciones (Angulo, 2009). Los resultados concuerdan con el autor, mostraron una diferencia mayor al testigo en la aplicación de ácido glutámico.

En cuanto al T5 correspondientes al FeSO_4 concentrado a 151.9×10^{-3} M no fue significativamente diferente en la variable diámetro de planta, aunque el T6 concentrado a 151.9×10^{-2} M fue significativamente diferente en comparación con las plantas testigo, sin embargo ambos tratamientos mostraron una diferencia numérica mayor de 5.12% y 15.83% respectivamente, como ya se había mencionado antes, las dosis moderadas de Fe influyen en una mayor cantidad de tallos y hojas resultando en diámetro de planta, Figueroa (2010) realizó un ensayo con FeSO_4 a diferentes concentraciones 0.9×10^{-4} M y 1.8×10^{-3} M, asperjado semanalmente por 12 semanas y no obtuvo diferencias significativas sin embargo los resultados mostraron diferencia numérica mayor en 49% y 38.5% en el cultivo de orégano.

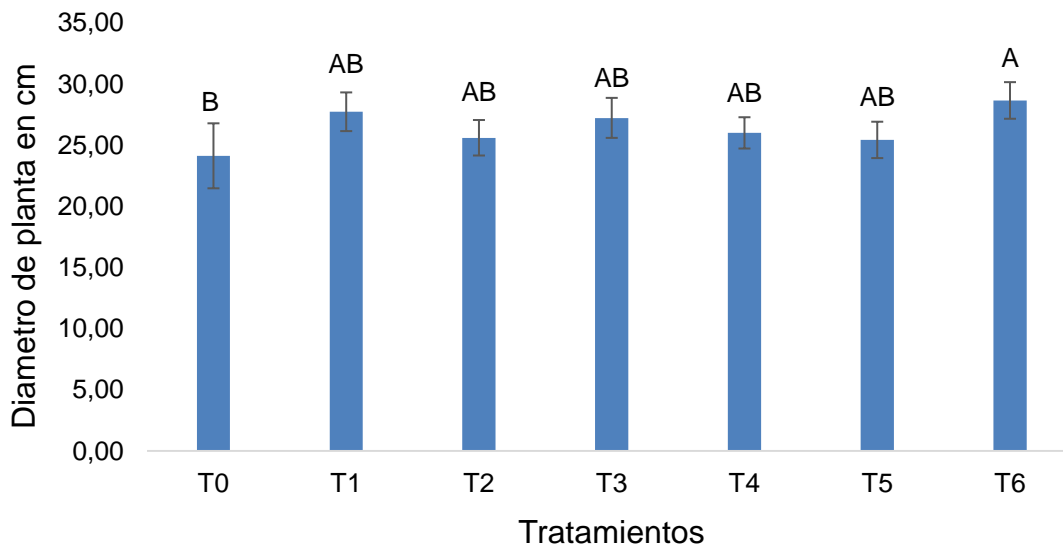


Figura 6. Respuesta en diámetro de planta de fresa cultivar “Albión” a la aplicación foliar de diferentes estimulantes como; T0 (testigo), T1 H_2O_2 34.014×10^{-4} M, T2 H_2O_2 34.014×10^{-3} M, T3 CuSO_4 159.62×10^{-4} M, T4 Acido glutámico (1.96 g/L), T5 FeSO_4 151.9×10^{-3} M, T6 FeSO_4 151.9×10^{-2} M. Las letras en la parte superior representan el grupo de significancia al que pertenecen para la cual se utilizó la prueba de separación de medias Tukey al 0.05. Las barras colocadas debajo de las letras representan el error estándar.

Diámetro de corona (DC)

De acuerdo a los datos, los tratamientos asperjados muestran diferencias significativas en diámetro de corona (figura 7).

De acuerdo a los resultados obtenidos en diámetro de corona, para las plantas tratadas con T1 correspondiente a 34.014×10^{-4} M de H_2O_2 , fueron significativamente diferentes en comparación con plantas testigo, mientras que en aquellas asperjadas con T2 correspondiente a 34.014×10^{-3} M H_2O_2 no mostraron diferencias y en ambos tratamientos presentaron diferencia numérica mayor 17.86% y 14.25% respectivamente. En trabajo realizado por Soto-Bravo (2015) aplicando a 10×10^{-2} M de H_2O_2 no obtuvieron diferencias significativas ($P > 0,05$) entre tratamientos en los valores de diámetro basal del tallo y altura de

planta durante el ciclo de cultivo del tomate. Además de ser señalizador de expresión de genes relacionados con la tolerancia a estrés oxidativo (Orozco *at al.*, 2001), sirve también como un mediador clave de la activación de ABA (Benezer *at al.*, 2008), razón por la cual las plantas mostraron mayor diámetro de corona comparado con el testigo.

El T3 correspondiente a CuSO_4 159.62×10^{-4} M fue significativamente diferente en diámetro de corona en comparación con plantas testigo. Varias proteínas que contienen Cu desempeñan un papel fundamental en procesos tales como la fotosíntesis, respiración, desintoxicación de radicales superóxido y lignificación. Cuando se presenta una deficiencia de Cu la actividad de estas enzimas se reduce drásticamente. La reducción del transporte fotosintético de electrones, como consecuencias de menores contenidos de plastocianina, una proteína que contiene Cu, disminuye la tasa de fijación de CO_2 de modo que el contenido de almidón y de carbohidratos solubles (sacarosa especialmente) también reduce. De acuerdo a lo anterior, podemos sugerir que la dosis del sulfato de cobre es adecuada para el diámetro de corona en las plantas (Kirkby y Römheld. 2007).

El T4 correspondiente al ácido glutámico concentrado a 1.96 g/L fue de diferencia significativa en diámetro de corona y con diferencia numérica de 23.1% menor a las plantas testigo. El ácido glutámico no es un nutrimento; sin embargo, su aplicación foliar puede ser positiva para las plantas ya que participa en procesos metabólicos importantes, como la asimilación del amonio (Taiz y Zeiger, 2003). Recordando lo anteriormente mencionado en la variable altura de planta, el ácido glutámico se fue hacia otras rutas razón por la cual en diámetro de corona no fue superior comparado con plantas testigo.

El T5 correspondiente al FeSO_4 concentrado a 151.9×10^{-3} M fue igual en diámetro de corona en comparación con las plantas testigo, pero el T6 correspondiente a FeSO_4 concentrado 151.9×10^{-2} M fue diferente significativamente y con diferencia numérica mayor de 19.51%. Al realizar las frecuentes aplicaciones de Hierro, las plantas contaban mayor disposición del

elemento, lo que aumentó el número de clorofilas, incrementando la fotosíntesis y produciendo mayor cantidad de carbohidratos disponible para el crecimiento y desarrollo vegetativo (Espinoza J. 1996).

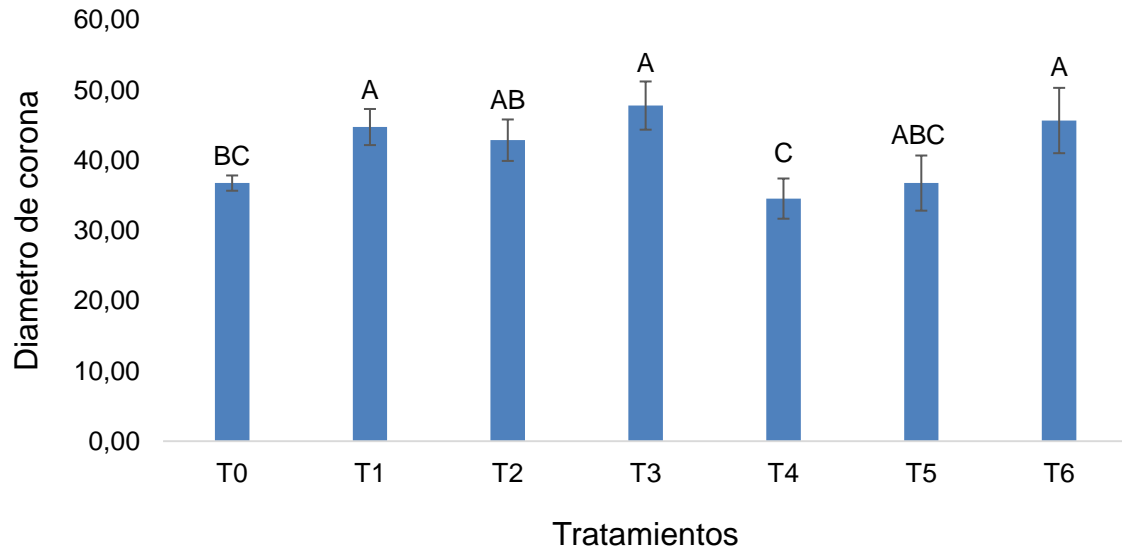


Figura 7. Respuesta en diámetro de corona en planta de fresa cultivar “Albión” a la aplicación foliar de diferentes estimulantes como; T0 (testigo), T1 H_2O_2 34.014×10^{-4} M, T2 H_2O_2 34.014×10^{-3} M, T3 CuSO_4 159.62×10^{-4} M, T4 Acido glutámico (1.96 g/L), T5 FeSO_4 151.9×10^{-3} M, T6 FeSO_4 151.9×10^{-2} M. Las letras en la parte superior representan el grupo de significancia al que pertenecen para la cual se utilizó la prueba de separación de medias Tukey al 0.05. Las barras colocadas debajo de las letras representan el error estándar.

Número de coronas (NC)

De acuerdo a los resultados los tratamientos muestran diferencias significativas en número de coronas (figura 8).

En los T2 y T3 correspondientes a 34.014×10^{-4} M y 34.014×10^{-3} M de H_2O_2 respectivamente, no fueron diferentes significativamente en comparación a plantas testigo, aunque en ambas dosis fueron de diferencia numérica mayor con 9.76%. Los resultados obtenidos por López y Sánchez (2010) a temperatura de 8°C , los tratamientos con 1×10^{-3} M y 5×10^{-3} M H_2O_2

presentaron un número significativamente menor de microtubérculos por planta que el testigo. A temperatura de 20°C la concentración 5×10^{-3} M presentó mayor número de microtubérculos por planta, con 1×10^{-3} M fue significativamente menor y 5×10^{-4} M no presentó diferencia con respecto al testigo. Como ya se había mencionado en la gráfica anterior (figura 3), se vuelve a cumplir lo dicho por Orozco *at al.* (2001) y Benezzer *at al.* (2008), debido a la expresión de genes y las fitohormonas, las plantas mostraron mayor números de coronas.

El T3 correspondiente a CuSO_4 159.62×10^{-4} M no fue significativamente diferente en número de coronas en comparación a plantas testigo, aunque mostró una diferencia numérica 7.6% mayor. Los resultados concuerdan con los obtenidos por Figueroa (2010) al asperjar CuSO_4 a diferentes concentraciones 1.3×10^{-3} M y 2.6×10^{-3} M, aplicados semanalmente por 12 semanas, en números de tallos por planta en cultivo de orégano. Gran parte de este elemento se encuentra en la planta como plastocianina de la hoja. Es esencial para la fotosíntesis ya que esta es un componente fundamental de la cadena de transporte de electrones en el fotosistema I y de muchas metaloenzimas como la citocromo oxidasa (activadora de procesos metabólicos basales) y fenolasa (responsable de la lignificación de la madera) (Dell *at al.* 1995).

De igual manera para el T4 correspondiente al ácido glutámico concentrado a 1.96 g/L no mostró diferencia significativa en número de coronas en comparación con plantas testigo, aunque tuvo una diferencia numérica del 14.12% mayor. La formación de ácido glutámico es el punto de entrada del nitrógeno a compuestos orgánicos, y ocurre en los cloroplastos o mitocondrias (Barker y Pilbeam, 2007). Por tanto, con la aplicación de este compuesto vía foliar existe la posibilidad de mejorar la asimilación de nitrógeno en las plantas, lo que puede reflejarse en mayor rendimiento.

El T5 151.9×10^{-3} M no fue diferente estadísticamente en número de corona en comparación con plantas testigo, sin embargo el T6 151.9×10^{-2} M mostró

diferencia significativa. En ambos tratamientos hubo una diferencias numéricas mayor de 14.12% y 30.21% respectivamente. Nuestros resultados concuerda con Gutiérrez (2014), obtuvo diferencia significativa en número de hoja por planta de lechuga a diferentes dosis de sulfato de hierro 15 M y 30 M, siendo la dosis baja diferente en comparación al testigo (quelato de hierro).

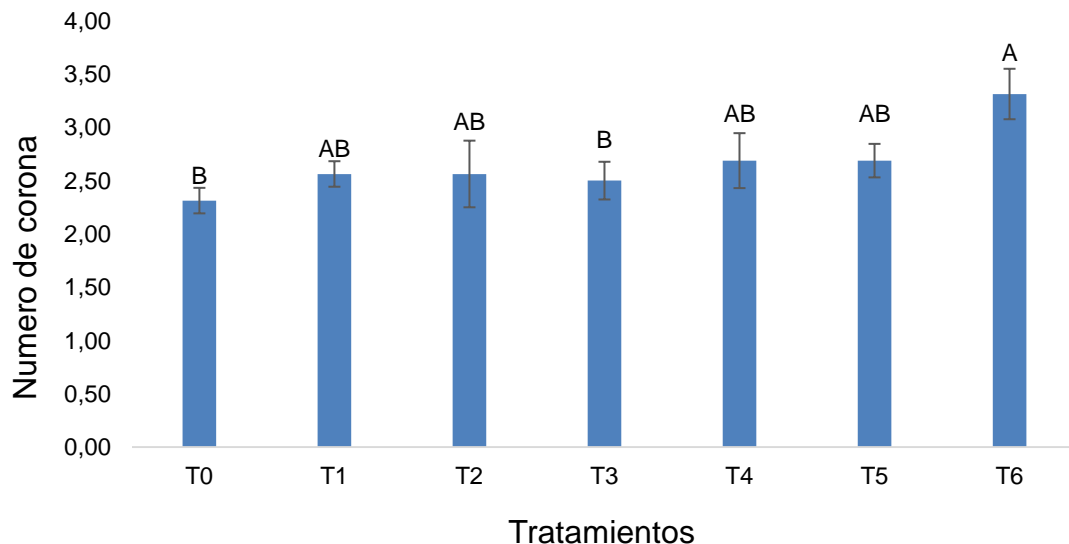


Figura 8. Respuesta en número de corona en planta de fresa cultivar “Albión” a la aplicación foliar de diferentes estimulantes como; T0 (testigo), T1 H_2O_2 34.014×10^{-4} M, T2 H_2O_2 34.014×10^{-3} M, T3 CuSO_4 159.62×10^{-4} M, T4 Acido glutámico (1.96 g/L), T5 FeSO_4 151.9×10^{-3} M, T6 FeSO_4 151.9×10^{-2} M. Las letras en la parte superior representan el grupo de significancia al que pertenecen para la cual se utilizó la prueba de separación de medias Tukey al 0.05. Las barras colocadas debajo de las letras representan el error estándar.

Sólidos solubles totales (SST-° Brix)

De acuerdo a los resultados obtenidos, los tratamientos aplicados muestran diferencias significativas sobre los sólidos solubles totales (figura 9).

Los T2 y T3 correspondientes a las concentraciones de 34.014×10^{-4} M y 34.014×10^{-3} M de H_2O_2 , no son diferentes significativamente en solidos solubles totales del fruto, aunque mostraron diferencia numérica menor 22.2% y 14.32% en comparación a los frutos testigo. Los tratamientos pudieron haber

sido bajos, debido que la gráfica presento una tendencia creciente en los sólidos solutos totales conforme la concentración de H_2O_2 aumentaba. En trabajos más recientes se demostró que H_2O_2 en bajas concentraciones externas menores a $20 \times 10^{-3} \text{ M}$ actúa como señal para la síntesis y asimilación de azúcares solubles, incrementando el contenido de éstos en hojas y frutos (Ozaki *at al.*, 2008).

El T3 correspondiente a CuSO_4 $159.62 \times 10^{-4} \text{ M}$ no mostro diferencia significativa en el contenido grados brix, aunque se diferenció numéricamente con 17.62% menor al testigo. Como ya se había menciona anteriormente, la reducción del transporte fotosintético de electrones, como consecuencias de menores contenidos de plastocianina, una proteína que contiene Cu, disminuye la tasa de fijación de CO_2 de modo que el contenido de almidón y de carbohidratos solubles (sacarosa especialmente) también reduce (Kirkby y Römheld. 2007), los resultados mostraron una diferencia negativa, con lo cual podemos sugerir que la dosis aplicada fue baja para el contenido de grados brix.

El T4 correspondiente al acido glutámico 1.96 g/L no fue diferente significativamente comparado con frutos testigo, el tratamiento mostro una diferencia numérica menor 18.33%. Se ha observado que su aplicación vía foliar ha permitido disminuir el contenido de nitratos en plantas de *Allium tuberosum* Rottler Spreng, lo que muestra su efecto en la incorporación del nitrógeno en compuestos orgánicos, ya que se incrementaron la síntesis de clorofila, el contenido de aminoácidos libres y la proteína soluble, así como azúcares solubles (Cao *at al.*, 2010).

El T5 no fue diferente significativamente, aunque el tratamiento T6 fue diferente significativamente y con diferencia numérica del 2.15% menor y 1.7% mayor respectivamente.

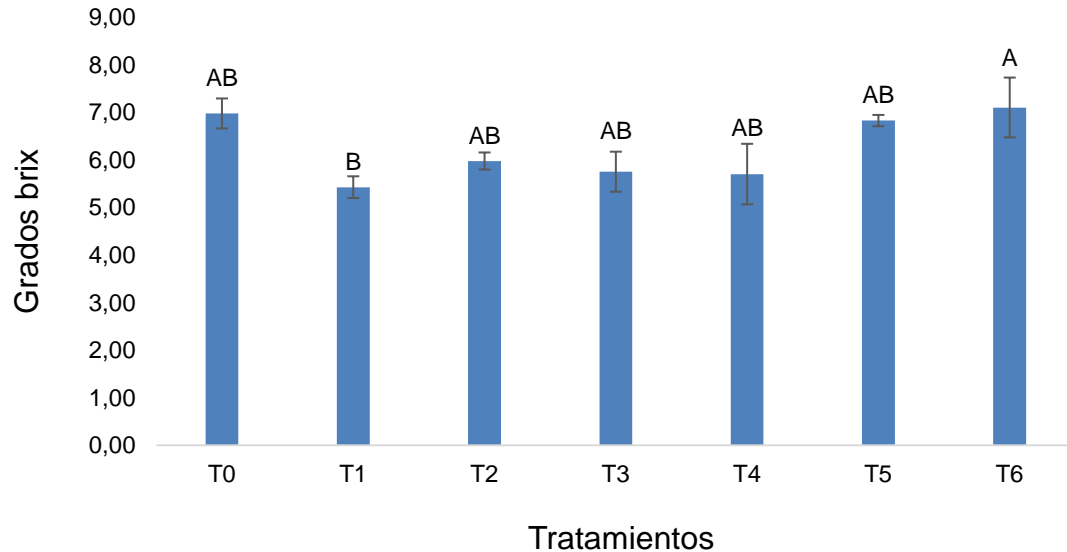


Figura 9. Respuesta en solidos solubles totales en planta de fresa cultivar “Albi6n” a la aplicaci6n foliar de diferentes estimulantes como; T0 (testigo), T1 H_2O_2 34.014×10^{-4} M, T2 H_2O_2 34.014×10^{-3} M, T3 CuSO_4 159.62×10^{-4} M, T4 Acido glutámico (1.96 g/L), T5 FeSO_4 151.9×10^{-3} M, T6 FeSO_4 151.9×10^{-2} M. Las letras en la parte superior representan el grupo de significancia al que pertenecen para la cual se utiliz6 la prueba de separaci6n de medias Tukey al 0.05. Las barras colocadas debajo de las letras representan el error estandar.

Peso del fruto (PF)

De acuerdo a los resultados obtenidos los tratamientos de estr6s oxidativo afectan significativamente al peso del fruto (figura 10).

El T1 H_2O_2 34.014×10^{-4} M no fue significativamente diferente en comparaci6n de los frutos testigo, pero el T2 H_2O_2 34.014×10^{-3} M fue significativamente diferente, los tratamientos mostraron diferencias num6ricas menor de 2.8% y 24.9% respectivamente. El trabajo realizado por L6pez y S6nchez (2010), el peso de los microtub6rculos cosechados a los 60 d6as, fue significativamente mayor en los tratamientos con 1×10^{-3} M, 5×10^{-3} M y 50×10^{-4} M H_2O_2 (62,95; 61,88 y 63,66 mg, respectivamente) con respecto al testigo (43,83 mg) a temperatura de 8°C. Con la temperatura de 20°C, los microtub6rculos de los tratamientos con 1×10^{-3} M y 50×10^{-4} M H_2O_2 presentaron peso significativamente mayor (91 y 96 mg) que el testigo (75 mg) en el cultivo de la

papa. Orihuela utilizó el H_2O_2 como oxiferrigación química sobre parámetros productivos en fresa, la deficiencia de oxígeno en el medio radical se produce un efecto negativo en el crecimiento de las raíces y en el consumo de los nutrientes.

El T3 CuSO_4 a 159.62×10^{-4} M fue igual en comparación con los frutos testigos, aunque mostró una diferencia menor 6.6%. El Cu es un metal esencial para el crecimiento y desarrollo normal de las plantas, participa en numerosos procesos fisiológicos y es un cofactor para muchas metaloproteínas, sin embargo cuando cantidades excesivas están presentes en las células inhiben el crecimiento vegetativo y afectan importantes procesos celulares (Yruela, 2005).

El T4 correspondiente a 1.98 g/L fue significativamente diferente en peso de fruta en comparación con frutos de las plantas testigo, aunque obtuvo una diferencia numérica menor 69.5%. El ácido glutámico participa en diversos procesos metabólicos importantes, además fue aplicado de manera foliar lo cual estuvo disponible principalmente en rutas metabólicas con respecto a la respiración. Nuestros resultados concuerdan con el trabajo realizado por Serna-Rodríguez *et al.*, (2011) obtuvieron diferencia significativa en comparación al testigo en peso fresco de fruto de tomate. Con respecto a la productividad; una planta con mayor desarrollo vegetativo potencialmente es más productiva, diversos estudios mencionan que el ácido glutámico, actúa sobre la germinación del grano de polen y la viabilidad de frutos formados posterior a la fecundación de las flores (Baker y Baker, 1973).

El T5 fue igual al T0 y T6 fue significativamente diferente y con diferencia numérica de 2.75% y 27.77% menor respectivamente. Gutiérrez (2014) obtuvo diferencia significativa en rendimiento de g/m^2 en lechuga con aplicaciones de 15 g/L y 30 g/L de sulfato de hierro.

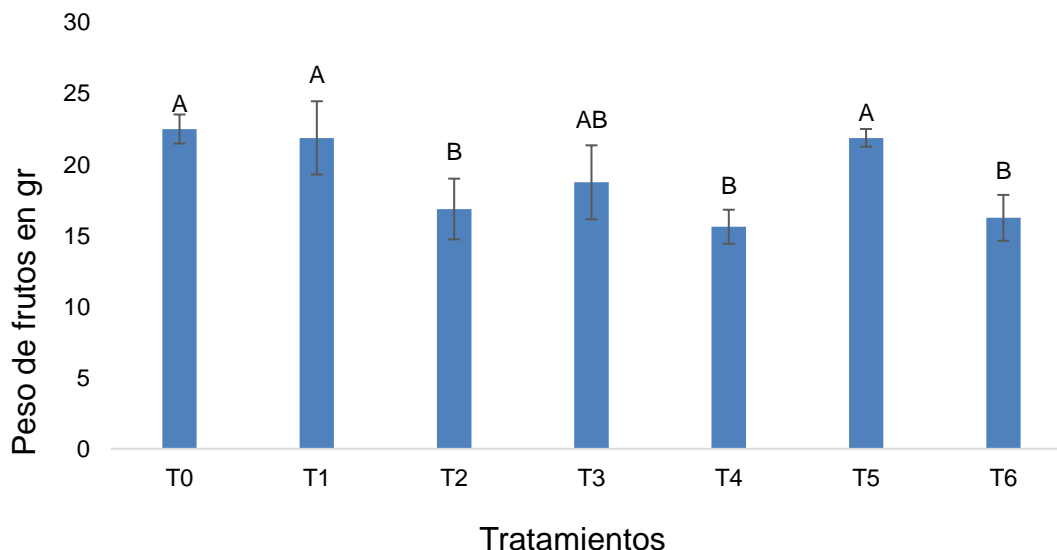


Figura 10. Respuesta en peso de fruto en planta de fresa cultivar “Albi3n” a la aplicaci3n foliar de diferentes estimulantes como; T0 (testigo), T1 H₂O₂ 34.014 x 10⁻⁴ M, T2 H₂O₂ 34.014 x 10⁻³ M, T3 CuSO₄ 159.62 x 10⁻⁴ M, T4 Acido glut3mico (1.96 g/L), T5 FeSO₄ 151.9 x 10⁻³ M, T6 FeSO₄ 151.9 x 10⁻² M. Las letras en la parte superior representan el grupo de significancia al que pertenecen para la cual se utiliz3 la prueba de separaci3n de medias Tukey al 0.05. Las barras colocadas debajo de las letras representan el error est3ndar.

Contenido relativo de clorofila (CRC)

Los tratamientos aplicados no fueron de diferencia significativa en la variable de contenido relativo de clorofila (figura 11).

Para el contenido relativo de clorofila los T1 concentrado a 34.014 x 10⁻⁴ M de H₂O₂ y el T2 concentrado a 34.014 x 10⁻³ M de H₂O₂ mostraron diferencia num3rica mayor 5.11% y 4.13% respectivamente, en comparaci3n con las plantas testigo. Godin *at al.* (2013) asperjaron una concentraci3n 10 x 10⁻³ M de H₂O₂ en plantas de ma3z, sus resultados mostraron una diferencia significativa en el contenido relativo de clorofila, al presentarse el estr3s oxidativo la planta lo reduce con glutamina reductasa y esta misma es favorable para la s3ntesis de clorofila.

T3 CuSO₄ 159.62 x 10⁻⁴ M no presento diferencia significativa en comparación a plantas testigo, sin embargo mostro una diferencia numérica mayor de 6.17%. Figueroa (2010) no obtuvo diferencias significativas en sus tratamiento de CuSO₄ a diferentes concentraciones 1.3 x 10⁻³ M y 2.6 x 10⁻³ M, pero la dosis baja obtuvo una diferencia numérica de 27.7% mayor comparado con el testigo. En el fotosistema I, el cobre interactua con la ferredoxina inhibiendo la fotorreduccion del NADP+ (Shioi *et l.*, 1978). La función de los fotosistemas también es modificada por los cambios en la composición de lípidos, acompañados con una disminución de lípidos, acompañados con una disminución de la fluidez de la membrana tilacoide (Maksymiec *at al.*, 1994; Quartacci *at al.*, 2000). La reducción por cobre de los contenidos de clorofilas y carotenoides afecta la eficiencia fotosintética (Luna *at al.*, 1994). Aunque los resultados mostraron ser superiores en diferencia numérica

El T4 no fue diferente significativamente, pero el 0.1% fue la diferencia numérica menor del T4 correspondiente al acido glutámico a 1.96 g/L en comparación al testigo, los datos difieren por los obtenidos por Serna-Rodríguez *at al.*, (2011), en las aplicaciones realizadas con 1.25, 2.5, 5, 10 y 20 g/L muestra diferencia significativa en el contenido de clorofilas b en plantas de jitomate, siendo las dosis 1.25, 2.50 y 10 g/L las que muestran mayores cantidades de clorofila b, De las Rivas (2000) menciona que el ácido glutámico es un intermediario de la ruta metabólica incrementa la concentración de la clorofila b, sin la necesidad de una alta intervención de la enzima glutamina sintetasa para el aporte del nitrógeno necesario. Aunque nuestros resultados no mostraron ser superiores en comparación con plantas testigo, es probable que parte del glutamato aplicado se trasladó hacia la raíz, y allí la enzima glutamina sintetasa asimilara más nitrógeno amoniacal que sirvió para la síntesis de estos compuestos para el numero de corona y el diámetro de planta.

Los T5 y T6 con diferencia numérica 4% y 6.53% mayor al T0. Figueroa (2010) no obtuvo diferencias significativas en los tratamientos de sulfatos de fierro 0.9

$\times 10^{-4}$ M y 1.8×10^{-3} M, pero en la dosis alta mostro diferencia numérica en 21% en comparación al testigo. El hierro juega un papel muy importante en la fotosíntesis, no solo por su acción en la síntesis de clorofila (Miller *at al.*, 1984) también, por su influencia en la morfología de los cloroplastos (Terry y abadia, 1986). La cantidad de hierro asimilada por la planta pudo haber sido utilizada para síntesis de clorofilas y en morfología de cloroplastos.

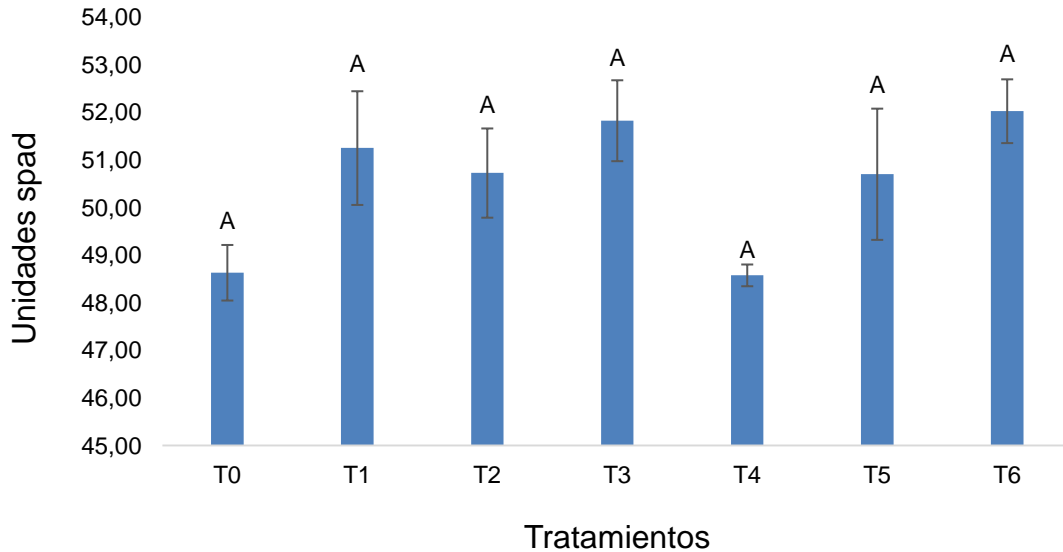


Figura 11. Respuesta en contenido relativo de clorofila planta de fresa cultivar “Albión” a la aplicación foliar de diferentes estimulantes como; T0 (testigo), T1 H_2O_2 34.014×10^{-4} M, T2 H_2O_2 34.014×10^{-3} M, T3 CuSO_4 159.62×10^{-4} M, T4 Acido glutámico (1.96 g/L), T5 FeSO_4 151.9×10^{-3} M, T6 FeSO_4 151.9×10^{-2} M. Las letras en la parte superior representan el grupo de significancia al que pertenecen para la cual se utilizó la prueba de separación de medias Tukey al 0.05. Las barras colocadas debajo de las letras representan el error estándar.

CONCLUSIONES

- ❖ De acuerdo a los resultados obtenidos, los tratamientos aplicados foliarmente en las plantas de fresa presentaron cambios morfológicos en la plantas; altura de planta, diámetro de planta, diámetro de corona, numero de corona, peso de fruto y °brix. Mientras que en la variable contenido relativo clorofila no presento cambio alguno.
- ❖ El aplicación foliar de los producto de H_2O_2 34.014×10^{-4} M, CuSO_4 159.62×10^{-4} M y FeSO_4 151.9×10^{-2} M mostraron ser de los mejores en la variable diámetro de corona.
- ❖ La aplicación de FeSO_4 151.9×10^{-2} M fue el mejor de los tratamientos, fue superior en las variables evaluadas de diámetro de planta, diámetro de corona, número de corona y peso de fruto. Esto indica que la aplicación de FeSO_4 a la concentración 151.9×10^{-2} M favorece el crecimiento y desarrollo vegetativo de la planta de fresa como en el rendimiento.

LITERATURA CITADA

Alexander, A. 1986. Fertilization foliar. Kluwer Academic Publish. Boston. 488p.

Angulo R, F. R. (2009). Evaluación de cuatro bioestimulantes comerciales en el desarrollo de plantas injertadas de cacao (*theobroma cacao* L.) cultivar nacional. Escuela superior politecnica de chimborazo Ecuador. Tesis Ingeniero Agrónomo. (en línea) Recuperado el 12 de septiembre de 2,012. disponible en:
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/319/1/13T0621ANGULO%20FERMIN.pdf>

Arjona H. D.; Herrera J. E.; Gómez J. A.; J. Ospina. 2004. Evaluation of the application of urea, and amino acids on growth and yield of onion plants (*Allium cepa* L. Group *cepa*) in the Bogota Agronomía Colombiana. 22 (2): 177-184.

Baker H. G; Baker I., 1973. Amino acids in nectar and their evolutionary significance. Nature. 241, 543-5.

Barker, A. V.; D. J. Pilbeam. 2007. Handbook of plant nutrition. CRC press. Boca Ratón, USA. 613 p.

Benavides M. A. 2004. Estrategias para el uso de los mecanismos naturales de tolerancia al estrés en plantas. In: Tópicos selectos de Botánica. ISBN: 970694141X. Facultad de Ciencias Biológicas UANL. Monterrey N.L. México. Pp 163-172.

Benavides MA, Ramirez RH, Robledo TV, Mati R, Cornejo OE, Hernandez DJ, Sandoval RA, Mendoza VR, Samaniego CE, Ramírez MJG,

- Bacopulos Tellez E, Aguilera CA, Fuentes LO. (2002).** Ecofisiología y bioquímica del estrés en plantas. Primera ed. Departamento de Horticultura Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Saltillo Coahuila.
- Benezer, M., Castro, E., and García E., 2008.** Ka aplicaion de especies reactivas de oxigeno durante la expresión de la Resistencia a enfermedades en plantas. Rev. Mex. Fitopatol. 26:56-61.
- Blum, A. 1988.** Plant Breeding for Stress Environments. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida. 223 p. Cabeza Banda, A. 2001. Evaluación de los Acidos Salicílico y Benzóico en el Cultivo de la Papa (*Solanum tuberosum* L.). Tesis Ingeniero Agrónomo en Horticultura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Cabrera-De la Fuente., M., A. Benavides-Mendoza, L.O. Fuentes-Lara, H. Ortega-Ortíz, H.**
- Cao, Y. P.; Gao, Z. K.; Li, J. T.; Xu, G. H.; Wang, M. 2010.** Effects of extraneous glutamic acid on nitrate contents and quality of chinese chive. Acta Hort 856: 91–98.
- Consejo Nacional de la Fresa. 2011.** Plan Rector revisado, actualizado y validado por el Comité Nacional del Sistema Producto Fresa. http://conafresa.com/plan_rector.pdf. Accesado en junio, 2011.
- Cristobal Hernández, c. e. s. a. r. (2009).** Evaluación de la producción de biomasa por efecto aplicación exógeno de cobre (Cu) y hierro (Fe) en orégano mexicano (*lippia graveolens*).
- Croteau R; Kutchan, T. M; Lewis, N.G., 2000.** Natural products (secondary metabolites). In Biochemistry and Molecular Biology of Plants. Buchanan, B.B.; Grisseem, W.; Jones, R.L. (Editors). American Society of Plant Physiologists. Rockville, US. p. 1250-1318.

De Lourdes Miranda-Ham, M., & Castro-Concha, L. EL ESTRÉS OXIDATIVO EN PLANTAS.

DELL; B.; MALAJCZUK; N. and GROVE, T. 1995. Nutrient disorders in plantation Eucalypts. Australian Center For International Agricultural Reserch. Australia. 110 p

Espinoza J. 1996 nutrición foliar. Información agronómica (INFOPOS) 1025:4-9.

Figueroa Fuentes, J. R. (2010). Producción de biomasa y de aceites esenciales en plantulas de orégano mexicano (*lippia graveolens hbk*) por efecto de inducción estrés con sales (NaCl) y metales (Cu) y (Fe).

Fulford, R.M. (1970). The effect of chemical defoliation on the development, of Apple spurs. Ann. But 34, 1089-96.

Gondim, F. A., Miranda, R. D. S., Gomes-Filho, E., & Prisco, J. T. (2013). Enhanced salt tolerance in maize plants induced by H₂O₂ leaf spraying is associated with improved gas exchange rather than with non-enzymatic antioxidant system. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, 25(4), 251-260.

Gutiérrez Orrala, F. (2014). Efecto del sulfato de hierro y ácidos húmicos en solución nutritiva en la producción de lechuga (*Lactuca sativa* var. Crispa L.), bajo hidroponía en Manglaralto.

Hung S, Yu C, Lin CH, (2005) Hydrogen peroxide functions as a stress signal in plants. *Bot. Bull. Acad. Sin* 46: 1-10

Inze D. and M. Van Montagu, 1995. Oxidative stress in plants. *Curr. Opin. Biotechnol.* 6: 153- 158.

Keys A. J; Bird I. F. and Cornelius M. J., 1978. Photorrespiratory nitrogen cycle. *Nature* 275:741-743

- Kirkby, E., & Römheld, V. (2007).** MICRONUTRIENTES EN LA FISIOLÓGIA DE LAS PLANTAS: FUNCIONES, ABSORCIÓN Y MOVILIDAD¹. *Ecuador: Quito.*
- Kocsy, G., B. Toth, T. Berzy, G. Szalai, A. Jednakovits, G. Galiba. 2001.** Glutathione reductase activity and chilling tolerance are induced by a hydroxylamine derivative BRX-156 in maize and soybean. *PlantSci.* 160, 943-950.
- Lester, G.E. 2006.** Environmental regulation of human health nutrients (ascorbic acid, β -carotene, and folic acid) in fruits and vegetables. *Hort Science* 41, 59-64.
- López D. H. A.; Sánchez R. S. 2010.** Peróxido de hidrógeno como inductor de tuberización *in vitro* en plantas de papa. *Revista interciencia*, vol. 35, número 3. 213-216 Pag.
- Maksymiec W, Russa R, Urbanik-Sypniewska T, Baszynski T (1994)** Effect of excess Cu on the photosynthetic apparatus of runner bean leaves treated at two different growth stages. *Physiol. Plant.* 91: 715-721.
- Miller, R. W., Pushnik, J. C.; Welkie, G. W. 1984.** Iron chlorosis, a world wide problem, the relation of chlorophyll biosynthesis to iron. *J. Plant Nutr* /: 1-22.
- Mittler, R. 2002.** Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends Plant Sci.* 7, 405-410.
- Mozaffarian, D. Wu, J.H. 2011.** Omega-3 fatty acids and cardiovascular disease: effect on risk factors, molecular pathways, and clinical events. *J Am Coll Cardiol* 58, 2047–2067.
- Orihuela, D. L., Hernández, J. C., Flores, F., & Tornos, P.** La oxifertirrigación y su efecto sobre algunos parámetros productivos en fresa (*Fragaria x ananassa*).

- Orozco ML, Narváez J, Ryan CA.** Hydrogen peroxide acts as a second messenger for the induction of defense genes in tomatoe plants in response to wounding, systemin, and methyl jasmonate. *Plant Cell* 2001; 13:179-191.
- Ozaki K, Uchida A, Takabe T, Shinagawa F, Tanaka Y, Takabe T, Hayashi T, Hattori T, Rai AK, Takabe T (2008)** Enrichment of sugar content in melon fruits by hydrogen peroxide treatment. *J. Plant Physiol.* 166: 569-578.
- Pan, J.R. Segers, G. Voelker, T. Carson, D. Dobert, R. Phillips, J. Cook, K. Cornejo, C. Monken, J. Grapes, L. Tracey, R. Martino-Catt, S. 2012.** Genetically Engineered Crops: From Idea to Product. *Annu. Rev. Plant Biol.* 65, 769-90.
- Peña-Olmos, J. E., Casierra-Posada, F., & Olmos-Cubides, M. A. (2014).** The effect of high iron doses (Fe²⁺) on the growth of broccoli plants (*Brassica oleracea* var. *Italica*). *Agronomía Colombiana*, 32(1), 22-28.
- Pereyra, M. (2001).** Asimilación del nitrógeno en plantas. *Publicación de la Facultad de Agronomía, Universidad de la Pampa. La Pampa, Argentina.*
- Pnueli L, Liang H, Rozerberg M, Mittler R (2003)** Growth suppression, altered stomatal responses, and augmented induction of heat shock proteins in cytosolic ascorbate peroxidase (Apx 1)-deficient *Arabidopsis* plants. *Plant J.* 34: 184-203.
- Quartacci MF, Pinzino C, Sgherri CLM, Vecchia FD, Navari-Izzo F (2000)** Growth in excess copper induces changes in the lipid composition and fluidity of PSII-enriched membranes in wheat. *Physiol. Plant.* 108: 87-93.
- Quian, M., Finn, C., Schroeder J.M. 2005.** Objective Flavor Comparison of Oregon Straw berries and those from other climatic on diction. Progress report. 2004-2005.OregonStrawberryCommission.

- Rausher M., 2001.** Co-evolution and plant resistance to natural enemies. *Nature* 411: 857-864.
- Rivera González, V. H. (2010).** Efecto de la aplicación de dos fuentes de hierro en solución nutritiva y foliar sobre el rendimiento de dos cultivares de lechuga (*Lactuca sativa* L.).
- Ruiz Lopez, N. Halsam, P. R. Naiper, J. A. Sayanova, O. 2014.** Success full high level accumulation of fish oil omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids in a transgenic oilseed crop. *The Plant Journal*. 77, 198-208.
- Salisbury F.B. y Roos C. W. 1994.** *Fisiología Vegetal*. Primera edición. Grupo editorial Iberoamérica SA de CV. México D.F. ISBN 970-625-024-759.
- Sandoval R.A y Kamara K.A. 2002.** Un Enfoque práctico comercial para lograr el aumento fenotípico en la resistencia al estrés oxidativo y otros tipos de estrés. In: *Eco fisiología y Bioquímica del Estrés en plantas*. ISBN 968 844 042 6. Universidad autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila México. pp 158-171.
- Serna-Rodríguez, J. R., Castro-Brindis, R., Colinas-León, M. T., Sahagún-Castellanos, J., & Rodríguez-Pérez, J. E. (2011).** Aplicación foliar de ácido glutámico en plantas de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mili.). *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 17(1), 9-13.
- Shioi Y, Tamai H, Sasa T (1978)** Effects of copper on photosynthetic electron transport systems in spinach chloroplasts. *Plant Cell Physiol*. 19: 203-209.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera) (2011).** Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. <http://www.siap.gob.mx/>. Accesado en Mayo 2011.
- Simontacchi M., A. Galatro and S. Puntarulo, 2001.** El estrés oxidativo en las plantas. *Rev. Ciencia Hoy [en línea]*. 10: 1-2.

- Soto-Bravo, F. (2015).** Oxifertirrigación química mediante riego en tomate hidropónico cultivado en invernadero. *Agronomía Mesoamericana*, 26(2), 277-289.
- Steer H. L., and Beevers H., 1966.** Compartmentation of Organic Acids in Corn Roots I. Differential Labeling of 2 Malate Pools¹ . *Plant Physiology* 41:709-712 .
- Taiz L.; Zeiger E. 2003.** *Plant Physiology*. Sinauer Associates Publisher. USA. 623 p.
- Tecnoquímica, MK. 2005.** Monografías de la respuesta de la rosa a la aplicación de Crop Star. 36 p.
- Terry, N.; Zayed, A. M.; 1995.** Physiology and biochemistry of leaves under iron deficiency. In iron nutrition in soils and plants. (J. abadia ed). Kluwer academic Publisher. Dordrecht. ISBN: 0-7923-2900-7: 283-294.
- Theis N; Lerdau M., 2003.** The evolution of function in plant secondary metabolites. *International Journal of Plant Sciences* 164(3): S93-S102.
- V. Rodriguez S. F. 1989.** Fertilizante, nutrición vegetal, A. G. T. Editorial S. a. Mexico. D. F. 157. Pag.
- Verpoorte R., 2000.** Plant secondary metabolism. In Verpoorte R; Alfermann A.W (Eds.) *Metabolic Engineering of Plants Secondary Metabolism*. Kluwer. Dordrecht, Holanda. pp: 1-29.
- Yu CW, Murphy TM, Lin CH (2003)** Hydrogen peroxide-induced chilling tolerance in mung beans mediated through ABA-independent glutathione accumulation. *Funct. Plant. Biol.* 30: 955-963.
- Yu CW, Murphy TM, Sung W, Lin CH (2002)** H₂O₂ treatment induces glutathione accumulation and chilling tolerance in mung bean. *Funt. Plant Biol.* 29: 1081-1087